

13. European Red List of Butterflies [Text] / C. Van Swaay, A. Cuttelod, S. Collins, D. Maes, M. López Manguira, M. Šašić, J. Settele, R. Verovnik, T. Verstrael, M. Warren, M. Wiemers, I. Wynhof. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2010. 47 p.

H. M. Holinei, M. Z. Prokopiak, O. V. Roketska, L. O. Shevchyk, M. A. Kryzhanovska
Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University, Ukraine

**SPECIES OF THE NIMPHALINAE SUBFAMILY IN ZOOLOGICAL COLLECTIONS OF
TERNOPIL VOLODYMYR HNATIUK NATIONAL PEDAGOGICAL UNIVERSITY**

The species diversity of the insects of Nymphalinae subfamily (Lepidoptera order), which are stored in the entomological collection of The Botany and Zoology Department of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University were studied.

The insects were collected by the students during their teacher training and also by the amateur entomologists during 2000–2020. These insects are in the collections of The Botany and Zoology Department.

The species composition of the collected insects was analyzed. There are 202 individuals of Nymphalinae subfamily. Identified insects belong to five genus (*Vanessa*, *Inachis*, *Agalis*, *Polygonia*, *Nymphalis*). The largest number of individuals of this subfamily was calculated (*Inachis io* – 75, *Vanessa atalanta* – 52, *Cynthia cardui* – 45). Also 13 individuals of *Agalis urticae* and 12 individuals of *Polygonia c-album* were found.

All species of Rhopalocera of European fauna are in The International Union for Conservation of Nature (IUCN) Red List of Threatened Species. Most of them are classified as Least Concern (LC).

Widespread, numerous and common species of the Nymphalinae subfamily were found in the funds of The Botany and Zoology Department. Identified species belong to the LC category of The IUCN Red List.

The Compton tortoiseshell (*Nymphalis vaualbum*) is included in The Red Data Book of Ukraine (2009). Its conservation status is invaluable. *Nymphalis vaualbum* was not found in the entomological collections of The Botany and Zoology Department of TNPU.

Keywords: collections of insects, diurnal butterflies, Nymphalinae, the species of The Red Data Book of Ukraine.

Надійшла 16.03.2021.

УДК 599.32:575.857-047.58](477-89Под)(23.071)

doi: 10.25128/2078-2357.21.1-2.3

¹І. М. ГРОД, ²І. В. ЗАГОРОДНЮК, ¹Л. О. ШЕВЧИК, ³Н. Я. КРАВЕЦЬ

¹Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: grazhdar@ukr.net

²Національний науково-природничий музей НАН України
вул. Богдана Хмельницького, 15, Київ, 01030

³Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського
вул. Ю. Словацького, 2, Тернопіль, 46001

**МОДЕЛЮВАННЯ ЧИСЕЛЬНОСТІ ГРИЗУНІВ У ЛІСОВИХ
БІОТОПАХ ЗАХІДНОГО ПОДІЛЛЯ (НА ПРИКЛАДІ
MYODES GLAREOLUS)**

У роботі проаналізовано динаміку популяції нориці рудої у природних біотопах Західного Поділля. Об'єктом дослідження слугували матеріали, зібрані авторами протягом 2017 – 2019 рр. Період охопив одну фазу багаторічної динаміки чисельності населення популяцій, а саме збільшення чисельності. Виявлена річна та сезонна динаміка структурованості популяцій

як за статевим, так і за віковим складом, без сумніву, забезпечує механізм регулювання чисельності та може стати підґрунтям для подальшого прогнозування кількості гризунів у природних біотопах. Це і обумовило вибір моделі, яку широко застосовують при аналізі динаміки чисельності популяцій як рослин, так і тварин – матричної моделі Леслі (Leslie). Алгоритм побудови матричної моделі, детально викладений у статті, налічує п'ять послідовних кроків. Виявлений у процесі аналізу експоненціальний характер фактичного і прогнозованого збільшення чисельності популяції нориці рудої протягом п'ятирічного циклу (2017 – 2019 рр. з прогнозом до 2023 р.), можна пояснити не стільки потужністю репродуктивного потенціалу виду, скільки відсутністю значних змін у середовищі існування, викликаних сталістю погодних умов, низькою індивідуальною смертністю від хижаків та незаразних захворювань чи інших випадкових чинників. Застосування матричної моделі прогнозу Леслі дозволило підтвердити ключову роль основних компенсаторних механізмів динаміки населення популяції, оскільки вони сприяють стабілізації чисельності і, як наслідок, служать важливою умовою існування виду.

Ключові слова: нориця руда, чисельність популяції, демографічна структура, матрична модель Леслі, коефіцієнт виживання, коефіцієнт плодючості, експоненціальна крива чисельності.

Не викликає сумніву той факт, що життєдіяльність мишоподібних гризунів не співпадає з інтересами людини, а, отже, обумовлює сприйняття їх як шкідників господарської діяльності людини [14, 16]. Проте і поза прямим господарським інтересом моніторинг та прогнозування динаміки чисельності популяцій видів, що мешкають у природних екосистемах, є важливим компонентом аналізу стійкості екосистем, а також динаміки і напрямків зміни біотичних угруповань в умовах глобальних кліматичних змін і тиску чужорідних видів.

Розглядаючи проблему з позицій біоцентризму, корифеї української теріології відзначали позитивну роль звірів за історичний період, що зводилася до ґрунтовірної діяльності, проявлялася у сприянні змішуванню різних типів лісу та забезпеченню розростання їх на великих площах [2, 14]. Неоціненною є й роль лісових видів гризунів у процесі аерації ґрунту [3]. Крім того, у біоценозах гризуни є незамінною ланкою ланцюгів живлення багатьох хижих хребетних. Визначною є й їхня роль у функціонуванні низки зоонозів – туляремії, лептоспірозу, гемологічної пропасниці, нефрозо-нефриту, кліщового енцефаліту, бруцельозу [4, 13]. Ці особливо небезпечні для людей і свійських тварин захворювання, маючи природні джерела у біоценозах, характеризуються опосередкованим типом існування, що пов'язано з наявністю локальних високочисельних і одночасно стабільних популяцій. Проте у разі значного популяційного росту мишовидих, зокрема сірих полівок та лісових нориць, формуються так звані розлиті природні вогнища, що дозволяє вважати останніх резервуаром інфекції [5, 6].

Фази збільшення і зменшення чисельності нориці лісової в Україні вивчали К. Татаринів (1973), М. Рудишин, та Б. Пилявський (1988), а також в умовах Карпат і в цілому західного регіону України – В. Межжерін та В. Наглов. Вивчення цього процесу в лісостепових ділянках Поділля, попри своє центральне положення у системі біогеографічних виділів на території України, дотепер залишалось поза увагою. Окрім того, не проводили і моделювання, хоча були цікаві дослідження з описом феноменології популяційної динаміки в багаторічних рядах даних [8]. Власне це і стало мотивами дослідження.

Метою роботи є побудова матричної моделі та вивчення стану стабілізації динаміки популяції нориці лісової у рамках моделі Леслі.

Матеріал і методи досліджень

Об'єктом дослідження стала динаміка чисельності популяції нориці рудої (*Myodes glareolus* Schreber, 1780; = *Clethrionomys glareolus* auct.) [7].

В основу дослідження покладені матеріали, отримані упродовж 2017–2019 рр. Цей період охопив одну фазу багаторічної динаміки чисельності населення нориці рудої, а саме ріст чисельності популяції.

Відловлювання і опрацювання мишоподібних гризунів відбувалось за загальноприйнятими методиками. Відлови проводили шляхом виставлення мишоловок у лінії по 10 – 10 пасток у кожній, розміщених на віддалі 5 м одна від одної [11].

Обліки чисельності гризунів проводили протягом цілого року в листяних та мішаних лісах, в агроценозах та на присадибних ділянках. Перевірку робили щоранку, один раз на добу. Експонування однієї лінії пасток тривало 5 діб.

Всього відпрацьовано 6400 пастко-діб. Матеріал дослідження складає 358 норичь лісових. З метою оцінки чисельності населення популяцій проводили перерахунок кількості виловлених особин на 100 пастко-діб. Визначення віку норичь проводили за екстер'єрними ознаками з використанням методу, запропонованого Н. В. Тупіковою та ін. (1970) і успішно застосованого при дослідженнях в Україні [10].

Комп'ютерне моделювання екологічного процесу здійснювали в системі програмування С++. Алгоритм моделювання, який є основним змістом цієї роботи, викладено в основній частині статті.

Результати досліджень та їх обговорення

Інтенсивність шкодочинної діяльності гризунів обумовлюється мінливістю чисельності популяції. Популяційні механізми регулювання чисельності є строго видоспецифічними [15], у тому числі й для близьких видів, як-от дрібних представників родини шурових (Arvicolidae), відомих під загальною назвою «полівки», або «нориці», до яких відноситься і наш об'єкт дослідження.

Не викликає сумніву той факт, що кількісні популяційні зміни є результатом дії трьох факторів: народжуваності, смертності та міграції (або еміграції) [9].

Головною ж умовою існування виду є певна стабілізація чисельності популяції, що визначається дією певних компенсаторних механізмів. Найбільш важливими серед яких є швидкість росту та дозрівання, біотичний потенціал виду, статевий та віковий склад популяції [12]. Ще В. Риккер (1954), аналізуючи динаміку чисельності певних видів тварин, сформував важливе поняття «запасу» або статевозрілої частини популяції, що приймає участь у процесі розмноження та «поповнення» – тої частини молодих особин, котра дозріває у поточному році і поповнює «запас» популяції.

Фаза росту чисельності норичі рудої тривала всі три роки спостережень, а чисельні показники її склали: 2017 рік – (1,8 екз на 100 пастко-діб), 2018 – (2,0 екз. / 100 п.д.), 2019 – (2,7 екз. / 100 п.д.) (рис. 1, а).

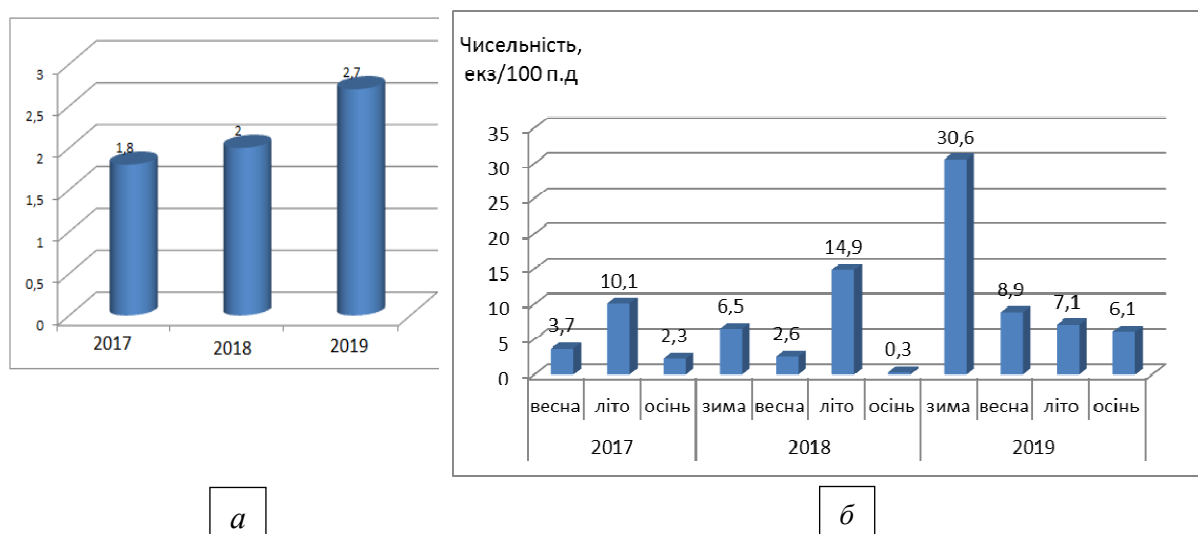


Рис. 1. Демографічні показники норичі рудої Західного Поділля: а – динаміка чисельності; б – сезонна динаміка чисельності.

Цей процес можна пояснити накладанням впливу сприятливих екзогенних факторів на загальний стан популяції нориці.

Невисока чисельність у весняний період кожного року дослідження, а саме на початку сезону розмноження (3,7 – 2,6 – 8,9 екз. / 100 п./д.), без сумніву, позитивно вплинула на репродуктивну активність звірят (рис.1, б). Сприятливим для росту чисельності був і статевий склад популяції (приблизно 1 : 1), із деяким зростанням частки самок, що припадає на період весни 2018 – осені 2019 рр. (табл. 1). Деяке зниження частки нестатевозрілих особин (4,5 – 3,9 – 3,1 %) є непрямим підтвердженням стабільності статевого дозрівання звірят із подальшим поповненням «запасу», що спричинило пришвидшення процесів розмноження і, як наслідок, забезпечило передумови для подальшого зростання чисельності популяції.

Таблиця 1

Сезонна зміна статевої структури популяції нориці рудої у природних біотопах
Західного Поділля

Сезон	Самці		Самки		Нестатевозрілі		Загалом	
	К-сть (екз.)	Частка (%%)	К-сть (екз.)	Частка (%%)	К-сть (екз.)	Частка (%%)	К-сть (екз.)	Частка (%%)
2017 рік								
Весна	8	2,2	10	2,8	5	1,4	23	6,4
Літо	15	4,2	7	2,0	7	2,0	29	8,1
Осінь	5	1,4	5	1,4	4	1,1	14	3,9
ВСЬОГО	28	7,8	22	6,1	16	4,5	66	18,4
2018 рік								
Зима	21	5,9	19	5,3	-	-	40	11,2
Весна	3	0,8	4	1,1	1	0,3	8	2,2
Літо	18	5,0	19	5,3	9	2,5	46	12,8
Осінь	13	3,6	15	4,2	4	1,1	32	8,9
ВСЬОГО	55	15,4	57	15,9	14	3,9	126	35,2
2019 рік								
Зима	30	8,4	34	9,5	-	-	64	17,9
Весна	23	6,4	24	6,7	6	1,7	53	14,8
Літо	10	2,8	10	2,8	4	1,1	24	6,7
Осінь	11	3,1	13	3,6	1	0,3	25	7,0
ВСЬОГО	74	20,7	81	22,6	11	3,1	166	46,4
ВСЬОГО	157	43,9	160	44,7	41	11,5	358	100

Встановлені нами причино-наслідкові механізми регулювання чисельності, без сумніву, можуть служити підґрунтям для подальшого прогнозування кількості шкідника у природних біотопах. При цьому виходимо з переконання у стратифікованості популяцій виду за статевим складом та віковими групами [11]. Це і обумовило вибір, широко застосовуваної у математичних аналізах динаміки чисельності як рослинних, так і тваринних угруповань – матричної моделі Леслі (Leslie) [1].

Суть моделі. В кожний фіксований момент часу (наприклад, t_0) популяцію можна описати вектор-стовпцем (1),

$$X(t_0) = \begin{pmatrix} x_1(t_0) \\ x_2(t_0) \\ \dots \\ x_n(t_0) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де $x_i(t_0)$ – чисельність (t_0) i -ї вікової групи ($1 \leq i \leq n$). Вектор-стовпець $X(t_1)$, який характеризує популяцію у наступний момент часу t_1 , пов'язаний з вектором $X(t_0)$ через матрицю переходу L : $X(t_1) = L X(t_0)$ наступного вигляду (2).

$$L = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_2 & \alpha_{2-n} & 0 & 0 \\ \beta_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & \beta_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \beta_{n-1} & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

У першій стрічці цієї матриці стоять коефіцієнти народжуваності для i -го віку ($k \leq i \leq k+p$), під діагоналлю – коефіцієнти виживання для j -го віку ($1 \leq j \leq n-1$), а інші елементи рівні нулю.

Такий вигляд матриці базується на припущенні, що за одиничний проміжок часу особини j -ї вікової групи переходять в $j+1$ -у, при цьому частина із них гине, а у особин i -ї групи за цей час народжується потомство. Тоді першу компоненту вектора $X(t')$ можна обчислити за формулою (1):

$$x_1(t_1) = \sum_{i=k}^{i=k+p} \alpha_i x_i(t_0) = \alpha_2 x_2(t_0) + \alpha_{2-1} x_{2-1}(t_0) + \dots + \alpha_{2-p} x_{2-p}(t_0) \quad (3)$$

де $\alpha_i x_i(t_0)$ ($k \leq i \leq k+p$) – число особин, які народилися від i -ї вікової групи, а друга і наступні – $x_i(t_1) = \beta_{i-1} x_{i-1}(t_0)$ ($2 \leq i \leq n$, $0 \leq \beta_{i-1} \leq 1$), де β_{i-1} – коефіцієнт виживання при переході від $i-1$ -го віку до i -го.

Таким чином, знаючи структуру матриці L і початковий стан популяції – вектор-стовпець $X(t^0)$, – можна прогнозувати стан популяції в будь-який наперед заданий момент часу t_i :

$$X(t_1) = L X(t_0); X(t_2) = L X(t_1) = L^2 X(t_0); X(t_i) = L X(t_{i-1}) = L^i X(t_0) \quad (4)$$

При вивченні демографічної структури популяцій нориці рудої (табл.2), нестатевозрілих самок розглядали як «поповнення», що у наступному сезоні переходить у ранг «запасу».

Таблиця 2

Демографічна структура популяції (на прикладі нориці рудої у природних біотопах Західного Поділля)

Віковий клас	2017 р.	2018 р.	2019 р.
1	1	19	34
2	10	4	24
3	12	5	27
4	7	19	10
5	11	24	12
6	5	15	13
7	7	17	14
Всього	53	103	134

Алгоритм побудови матричної моделі Леслі (Leslie) математичного аналізу та прогнозування динаміки чисельності нориці рудої у природних біотопах Західного Поділля передбачає:

1) Обчислення коефіцієнта виживання та аналіз його динаміки. Як зазначено, одним із трьох найбільш важливих факторів регулювання динаміки чисельності є смертність. У нашому ж прогнозі значно більший інтерес викликає виживання, а саме частка особин, що вижили у популяції за період дослідження [9].

Використовуючи дані таблиці 2, обчислюємо коефіцієнт виживання за формулою (5):

$$x_{i+1}(t+1) = S_i x_i(t); S_i = x_{i+1}(t+1)/x_i(t) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Отже: } S_1(2017-2018) &= 4/1 = 4 & S_2(2017-2018) &= 5/10 = 0,5 \\ S_3(2017-2018) &= 19/12 = 1,58 & S_4(2017-2018) &= 24/7 = 3,43 \\ S_5(2017-2018) &= 15/11 = 1,36 & S_5(2017-2018) &= 17/5 = 3,4 \\ \\ S_1(2018-2019) &= 24/19 = 1,26 & S_2(2018-2019) &= 27/4 = 6,75 \\ S_3(2018-2019) &= 10/5 = 2 & S_4(2018-2019) &= 12/19 = 0,63 \\ S_5(2018-2019) &= 13/24 = 0,54 & S_6(2018-2019) &= 14/15 = 0,93 \end{aligned}$$

Для отримання результатів моделювання було використано систему програмування C++. Завдяки чому було отримано перелік значень коефіцієнта виживання (табл. 3).

Таблиця 3

Динаміка коефіцієнта виживання нориці рудої за роками дослідження

Коефіцієнти виживання	2017–2018 рр.	2018–2019 рр.	Середнє
S_1	4	1,26	2,63
S_2	0,5	6,75	3,63
S_3	1,58	2	1,79
S_4	3,43	0,63	2,03
S_5	1,36	0,54	0,95
S_6	3,4	0,93	2,2

У вікні результатів коефіцієнти виживання виглядають наступним чином (рис.1).

The screenshot shows a window titled "Обрахувати коефіцієнти виживання". It contains two tables. The first table, titled "Коефіцієнти виживання", lists six rows of data with two columns of values. The second table, titled "Середнє", lists the same six rows with a single column of average values.

Обрахувати коефіцієнти виживання		
Коефіцієнти виживання		
	4	1,26
	0,5	6,75
	1,58	2
	3,43	0,63
	1,36	0,54
	3,4	0,93
Середнє		
		2,63
		3,63
		1,79
		2,03
		0,95
		2,2

Рис. 1. Результат обчислення коефіцієнтів виживання.

2) **Обчислення коефіцієнту плодючості.** Коефіцієнт плодючості напряму залежить від кількості статевозрілих самок у кожному, конкретному періоді життєдіяльності популяції. Так, для першого вікового класу коефіцієнт плодючості $b_1=0$. Для всіх подальших класів – ці коефіцієнти рівні і обчислюються за формулою (6).

$$x_1(t+1) = \sum_{i=1}^n b_i x_i(t); \quad b_i = x_1(t+1) / (\sum_{i=1}^n x_i(t) - x_1(t)); \quad (6)$$

Тому отримуємо : $b(2018) = 19 / (53 - 1) = 0,37$

$b(2019) = 34 / (103 - 19) = 0,4$

Знаходимо середнє значення $(0,37+0,4)/2=0,39$

3) **Побудова матриці Леслі.** Матриця Леслі для однорідної моделі має вигляд (7):

$$L = \begin{pmatrix} 0,0 & 0,4 & 0,4 & 0,4 & 0,4 & 0,4 & 0,4 \\ 2,6 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 3,6 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 1,8 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 0,0 & 2,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 1,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 2,2 & 0,0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Код формування однорідної матриці в системі С++ виглядає наступним чином (рис. 2).

```

1 private: void from(int size, double **mass)
2 {
3     for (int i = 0; i < size; i++)
4     {
5         for (int j = 0; j < size; j++)
6         {
7             mass[i][j] = 0;
8         }
9     }
10 }
11 private: void show(int size, double **mass)
12 {
13     for (int i = 0; i < size; i++)
14     {
15         for (int j = 0; j < size; j++)
16         {
17             dataGridView1->TopLeftHeaderCell->Value = "Однорідна матриця Леслі";
18             dataGridView1->Rows[i]->Cells[j]->Value = mass[i][j];
19         }
20     }
21 }
22 }
23

```

```

1 private: System::Void button1_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e)
2 {
3     double **mass = new double *[new_size];
4     for (int i = 0; i < new_size; i++)
5     {
6         mass[i] = new double[new_size];
7     }
8     dataGridView1->ColumnCount = new_size;
9     dataGridView1->RowCount = new_size;
10
11     from(new_size, mass);
12
13     for (int i = 1; i < new_size; i++)
14     {
15         for (int j = 0; j < new_size - 1; j++)
16         {
17             if (j + 1 == i)
18             {
19                 mass[i][j] = mass[i][j] = Math::Round(new_ser_znach[i - 1][0], 2, MidpointRounding::AwayFromZero);
20             }
21         }
22     }
23     for (int i = 0; i < 1; i++)
24     {
25

```

Рис. 2. Код формування однорідної матриці в системі С++.

4) **Здійснення прогнозу вікової структури популяції.** Найбільш яскраво загальний характер динаміки чисельності популяції ілюструє її вікова структура, що визначається співвідношенням вікових груп. Прогноз вікової структури популяції для однорідної моделі Леслі робимо за формулою (8) :

$$\begin{aligned} X(t_1) &= L X(t_0); \\ X(t_2) &= L X(t_1) = L^2 X(t_0); \dots \\ X(t_i) &= L X(t_{i-1}) = L^i X(t_0). \end{aligned} \quad (8)$$

За початковий розподіл беремо $X=(1, 10, 12, 7, 11, 5, 7)^T$.

$$X(t_1)=L X(t_0)= \begin{pmatrix} 0,0 & 0,4 & 0,4 & 0,4 & 0,4 & 0,4 & 0,4 \\ 2,6 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 3,6 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 1,8 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 0,0 & 2,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 1,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 2,2 & 0,0 \end{pmatrix} \begin{matrix} 1 & 20,28 \\ 10 & 2,63 \\ 12 & 36,3 \\ * & 7 = 21,4 \\ 11 & 14,2 \\ 5 & 10,4 \\ 7 & 11 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 37,9 & 119,7 \\ 52 & 142,1 \\ 9,5 & 187,2 \end{matrix}$$

$$X(t_2)=L X(t_1)=L^2 X(t_0)= \begin{matrix} 65 \\ 43,2 \\ 13,3 \\ 23,1 \end{matrix}; \quad X(t_3)=L X(t_2)=L^3 X(t_0)= \begin{matrix} 17 \\ 132 \\ 40,8 \\ 29,4 \end{matrix};$$

$$\begin{matrix} 339,1 & 958,6 \\ 447,8 & 928,3 \\ 519,7 & 1624,8 \end{matrix}$$

$$X(t_4)=L X(t_3)=L^4 X(t_0)= \begin{matrix} 332,8 \\ 34,5 \\ 125 \\ 90 \end{matrix}; \quad X(t_5)=L X(t_4)=L^5 X(t_0)= \begin{matrix} 930 \\ 676 \\ 32,8 \\ 275 \end{matrix}; \text{ і т.д.}$$

5) *Прогнозування динаміки чисельності.* На 13 кроці відбудеться стабілізація для однорідної моделі, після цього для прогнозування ми можемо використовувати формулу $X(t)=\lambda^t X(0)$, де λ – власне значення матриці.

Пишемо характеристичне рівняння, знаходимо власне значення.

$$\begin{vmatrix} 0-\lambda & \frac{8}{20} & \frac{8}{20} & \frac{8}{20} & \frac{8}{20} & \frac{8}{20} & \frac{8}{20} \\ \frac{26}{10} & 0-\lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{36}{10} & 0-\lambda & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 18/10 & 0-\lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0-\lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0-\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{22}{10} & 0-\lambda \end{vmatrix} =$$

$$\equiv$$

$$-\lambda^7 + \frac{63}{200} \times \lambda^5 + \frac{2457}{2000} \times \lambda^4 + \frac{2457}{1000} \times \lambda^3 + \frac{2457}{1000} \times \lambda^2 + \frac{144963}{100000} \times \lambda + \frac{3044223}{1000000} =$$

$$\frac{-1}{1000000} \times$$

$$\left(1000000 \times \lambda^7 - 315000 \times \lambda^5 - 1228500 \times \lambda^4 - 2457000 \times \lambda^3 - 2457000 \times \lambda^2 - 1449630 \times \lambda - 3044223 \right)$$

1. $\lambda_1 \approx 1,683$

Згідно з теоремою Перрона – Фробениуса [1], матриця Леслі має єдине додатне власне значення λ таке, що для будь-якого іншого власного значення r цієї ж матриці виконується умова $|r| \leq \lambda$. Це власне значення називається домінуючим, старшим або головним і характеризує швидкість розмноження популяції.

Якщо всі елементи матриці є константами, то, залежно від значення λ , можливий один із трьох сценаріїв розвитку популяції.

Якщо $\lambda < 1$, то чисельність популяції спадає. Якщо $\lambda = 1$, то чисельність популяції, починаючи з деякого моменту часу, стає постійною. Якщо $\lambda > 1$, то чисельність буде зростати. У нас $\lambda = 1,683$, тобто чисельність популяції зростає.

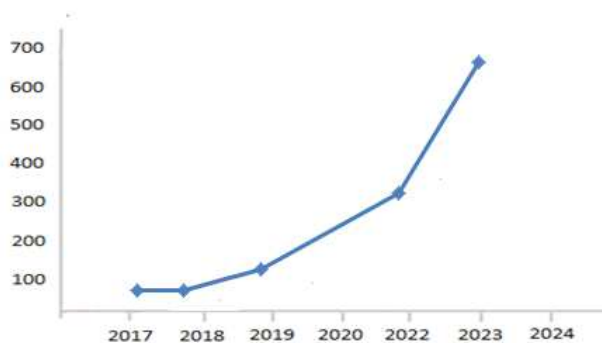


Рис. 3. Фактична та прогнозована динаміка чисельності нориці рудої Західного Поділля.

Виявлений нами експоненціальний характер фактичного і прогнозованого росту чисельності популяції протягом п'ятирічного циклу (2017 – 2023 рр, рис. 3), скоріше за все, пояснюється не стільки високим біотичним потенціалом виду, скільки послабленим впливом основних лімітуючих факторів чисельності (неврожай, посух, паводків, сильних морозів з частими відлигами та ін.), що могли б викликати загальне, значне і невибіркове вимирання тварин.

Розуміння цього і визначає перспективність подальшого прогнозування динаміки чисельності нориці рудої з урахуванням динаміки коливання погодних умов та впливу різних факторів навколишнього середовища.

Висновки

Аналізом встановлено, що інтенсивність шкодочинної діяльності гризунів обумовлюється мінливістю чисельності популяції, а механізми регулювання її строго видоспецифічні. Найбільш важливими серед них є швидкість росту та дозрівання, біотичний потенціал виду, статевий та віковий склад популяції.

У результаті п'ятирічних досліджень встановлено, що фактична і прогнозована чисельність популяції нориці лісової перебуває у фазі росту, що можна пояснити збігом впливу сприятливих екзогенних факторів та стабільності стану популяції нориці.

Власне експоненціальний характер цього явища пояснюється не стільки потужністю біотичного потенціалу виду, скільки відсутністю значних змін у середовищі існування, викликаних погодними умовами чи іншими факторами середовища.

Застосування матричної моделі прогнозу Леслі дозволило встановити, що основні компенсаторні механізми мають велике значення у динаміці популяції, оскільки сприяють стабілізації чисельності і, як наслідок, служать важливою умовою існування виду.

1. Балакирева А. Г., Мелашенко О. П. О широком применении модели Лесли к изучению динамических систем. *Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки*. 2013. № 1. С. 4–9.
2. Делеган І. В., Делеган І. І., Делеган І. І. Біологія лісових птахів і звірів / за ред. І. В. Делегана. Львів : Поллі, 2005. 600 с.
3. Вплив мишоподібних гризунів на інтенсивність розкладання підстилки в основних лісових біогеоценозах Присамар'я / Пахомов О. Є., Дубина А. О., Рева О. А., Шульман М. В. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель*. 2017. Т. 46. С. 102–105.
4. Геморагічна гарячка з нирковим синдромом в Україні / Небогаткін І. В., Новохатній Ю. О., Демчишина І. В. та ін. *Актуальна інфектологія*. 2020. Том 8, № 3–4. С. 7–12.
5. Евстафьев И. Методология системного анализа : теория и практика эколого-эпизоотологического прогноза. Мониторинг териофауны / за ред. І. Загороднюка. *Серія: Праці Теріологічної Школи*. Луганськ, 2010. Вип. 10. С. 84–87.
6. Євстаф'єв І. Л. Теріологічні дослідження: епізоотологічні аспекти (вступ до епізоотології). *Novitates Theriologicae*. 2017. Вип. 10. С. 18–32.
7. Загороднюк І. В., Ємельянов І. Г. Таксономія і номенклатура ссавців України. *Вісник Національного науково-природничого музею*. 2012. Вип. 10. С. 5–30.
8. Загороднюк І. В. Норичі (Rodentia: Arvicolidae) в басейні Сіверського Дінця: біотопний розподіл, зміни ареалів, видова ідентифікація. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія : Біологія*. 2008. № 814. Вип. 7. С. 74–93.
9. Кучерявий В. П. Загальна екологія : підруч. для студ. вищих навч. закл. Львів : Світ, 2010. 520 с.
10. Межжерин В. А., Семенюк С. К. Роль пространственной структуры популяции рыжей полевки *Clethionomys glareolus* (Rodentia, Arvecolidae) в процессах саморегуляции. *Вісник зоологі*. Київ, 2001. № 35 (4). С. 93–96.
11. Станкевич С. В., Забродіна І. В. Моніторинг шкідників сільськогосподарських культур: навч. посібник. Х. : ФОП Бровін О. В., 2016. 216 с.
12. Наглов В., Загороднюк І. Статистический анализ приуроченности видов и структуры сообществ. Териофауна сходу України. Пам'яті Олександра Кондратенка / під ред. І. Загороднюка. *Праці Теріологічної Школи*. 2006. Вип. 7. С. 291–300.
13. Наглов В. Значение видов мелких млекопитающих в эпизоотиях туляремии на территории Харьковской области. *Праці Теріологічної Школи*. 2014. Т. 12. С. 47–55.
14. Рудишин М. П. Мишовидні гризуни-шкідники та заходи боротьби з ними. *Бюлетень сільськогосподарської інформації*. 1957. С. 51–53.
15. Стецула Н. Динамічна компонента у складі териофауни Сколівських Бескид (Українські Карпати). *Therologia Ukrainica*. Київ, 2019. Т. 17. С. 43–54.
16. Хребетні тварини західних областей України : навч. посіб / за ред. Царик Й. В. та ін. Львів : Видавн. центр ЛНУ, 2003. 52 с.

References

1. Balakireva A. G., Melashchenko O. P. O shirokom primenenii modeli Lesli k izucheniiu dinamicheskikh sistem. *Visnyk Zaporiz'koho natsional'noho universytetu. Fyzyko-matematychni nauky*. 2013. 1. S. 4–9. [in Russian]
2. Delehan I. V., Delehan I. I., Delehan I. I. Biolohiia lisovykh ptakhiv i zviriv / za red. I. V. Delehana. Lviv : Polli, 2005. 600 s. [in Ukrainian]
3. Vplyv myshopodibnykh hryzuniv na intensyvniost rozkladannia pidstylky v osnovnykh lisovykh bioheotsenozakh Prysamaria / Pakhomov O. Ye., Dubyna A. O., Reva O. A., Shulman M. V. *Pytannia stepovoho lisoznavstva ta lisovoi rekul'tyvatsii zemel'*. 2017. 46. S. 102–105. [in Ukrainian]
4. Hemorahichna hariachka z nyrkovym syndromom v Ukraini / Nebohatkin I. V., Novokhatniy Yu. O., Demchyshyna I. V. ta in. *Aktualna infektolohiia*. 2020. 8 (3). S. 7–12. [in Ukrainian]
5. Evstaf'ev I. Metodologiiia sistemnogo analiza: teoriia i praktika ekologo-epizootologicheskogo prognoza. *Monitorynh teriofauny / za red. I. Zahorodniuka. Serii: Pratsi Teriologichnoi Shkoly*. Lugans'k, 2010. 10. S. 6–12. [in Russian]
6. Yevstaf'iev I. L. Teriolohichni doslidzhennia: epizootolohichni aspekty (vstup do epizootolohii) *Novitates Theriologicae*. 2017. 10. 18–32. [in Ukrainian]
7. Zahorodniuk I. V., Yemelianov I. H. Taksonomiia i nomenklatura ssavtsiv Ukrainy. *Visnyk Natsionalnoho nauково-pryrodnychoho muzeiu*. 2012, 10. S. 5–30. [in Ukrainian]

8. Zahorodniuk I. V. Norytsi (Rodentia: Arvicolidae) v baseyni Siverskoho Dintsia: biotopnyy rozpodil, zminy arealiv, vydova identyfikatsiia. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina. Seriya : Biologiya*. 2008. 814. (7). S. 74–93. [in Ukrainian]
9. Kucheriavyi V. P. Zahalna ekolohiia : pidruch. dlia stud. vyshchych navch. zakl. Lviv : Svit, 2016. 216 s. [in Ukrainian]
10. Mezhhzherin V. A., Semeniuk S. K. Rol' prostranstvennoy struktury populatsii ryzhey polevki *Clethrionomys glareolus* (Rodentia, Arvicolidae) v protsesakh samoregulatsii. *Vesnik zoologii*. Kiev, 2001. 35 (4): 93–96. [in Russian]
11. Stankevych S. V., Zabrodina I. V. Monitorynh shkidnykiv silskohospodarskykh kultur: navch. posibnyk. Kh.: FOP Brovin O. V., 2016. 216 s. [in Ukrainian]
12. Naglov V., Zagorodniuk I. Statisticheskii analiz priurochennosti vidov i struktury soobshchestv. Teriofauna skhodu Ukrainy. Pam'iaty Oleksandra Kondratenka / pid red. I. Zahorodniuka. *Pratsi Teriologichnoi Shkoly*. 2006.7. S. 291–300. [in Russian]
13. Naglov V. Znachenie vidov melkikh mlekopitaiushchikh v epizootiiakh tuliaremii na territorii Khar'kovskoy oblasti. *Pratsi Teriologichnoi Shkoly*. 2014. 12. S.47–55 [in Russian]
14. Rudyshyn M. P. Myshovydni hryzyny-shkidnyky ta zakhody borotby z nymy. *Biuleten silskohospodarskoi informatsii*. 1957. S. 51–53. [in Ukrainian]
15. Stetsula N. Dynamichna komponenta u skladi teriofauny Skolivskykh Beskyd (Ukrainski Karpaty). *Therologia Ukrainica*. Kyiv. 2019. 17. 43–54. doi.org/10.15407/pts2019.17.043. [in Ukrainian]
16. Khrebetni tvaryny zakhidnykh oblastey Ukrainy : navch. posib / za red. Tsaryk Y. V. ta in. Lviv : Vydavn. tsentr LNU, 2003. 52 s. [in Ukrainian]

¹I. M. Grod, ²I. V. Zagorodniuk, ¹L. O. Shevchyk, ³N. Ya. Kravets

¹Ternopil Volodymyr Hnatyuk National Pedagogical University, Ukraine

²National Museum of Natural History of National Academy of Sciences of Ukraine

³I. Horbachevsky Ternopil State Medical University, Ukraine

MODELING OF THE RODENTS ABUNDANCE IN FOREST HABITATS OF THE WESTERN PODILLIA (*MYODES GLAREOLUS*)

Monitoring and predicting the dynamics of abundance of species living in natural habitats is an important component stability analysis of ecosystem as well as dynamics and direction of change of biotic communities under global climate change and pressure of the alien species. The aim of the work was to build a matrix model and study the state of stabilisation of the dynamics of the bank vole population within the Leslie model. The object of the study was the population dynamics of *Myodes glareolus* Schreber, 1780 = *Clethrionomys glareolus* auct. The study is based on materials obtained during 2017–2019. This period covered one phase of the long-term population dynamics of the bank vole, named “population growth”. The research was carried out according to generally accepted methods. A total of 6400 trap-days were processed, and 358 forest fistulas were collected and studied. The intensity of harmful activity of rodents is due to the variability of the number of animals in the population. The quantitative population changes are the result of three factors: births, deaths, and migrations. The main condition for the existence of the species is the stability of the population, which is determined by the action of the compensatory mechanisms. The growth phase of the bank vole lasted all three years of the research, the quantitative indicators were respectively: 2017 – 1.8 individuals per 100 trap-days; 2018 – 2.0 individuals per 100 trap-days; 2019 – 2.7 individuals per 100 trap-days. Low levels of the abundance in the spring of each year of the study, namely at the beginning of the breeding season (3.7 – 2.6 – 8.9 individuals per 100 trap-days). Favourable for the abundance growth was the sex ratio of the population (approximately 1:1), with some rise in the share of females, which decreases on the period of spring 2018 to autumn 2019). Some decrease in the share of immature individuals (4.5 – 3.9 – 3.1 %) is an indirect confirmation of the stability of puberty of animals with subsequent replenishment of the “stock”, which led to accelerated reproduction and, consequently, provided prerequisites for further population growth. The causal mechanisms of population control established by us, without a doubt, can serve as a basis for further prognosis, of the number of pests in natural habitats. To predict population changes, the Leslie model, which is widely used in mathematical analyses of the abundance of both plant and animal groups, was chosen. The algorithm for building a matrix model, detailed in the article, has five following steps. The

exponential nature of the actual and projected growth of the bank vole population during the five-year cycle (2017–2019 with a prognosis until 2023) revealed in the analysis can be explained not so much by the power of the species' reproductive potential as by the lack of the significant changes in habitat, caused by constant weather conditions, low individual mortality from predators and non-communicable diseases or other accidents. The application of the matrix model allowed to confirm the key role of the main compensatory mechanisms of population dynamics, as they contribute to the stabilisation of the population and, as a consequence, are an important condition for the existence of the species.

Key words: Myodes glareolus, population quantity, demographic structure, Leslie model, survival rate, fertility rate, exponential population curve.

Надійшла 15.03.2021.